

以科学知识和事实增进公众对转基因生物及其安全性的了解

卢宝荣*

复旦大学生命科学学院, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海200433

摘要: 转基因生物技术的飞速发展和全球转基因植物的大规模种植, 引发了世界范围内的生物安全顾虑。大多数民众对生物技术、转基因产品以及生物安全的内容并不了解, 因此产生了对生物技术及产品盲目的怀疑、甚至不必要的恐慌。由于全球的粮食安全问题和环境日益恶化, 利用包括转基因生物技术在内的新技术来解决这些问题已成为世界的发展趋势, 转基因技术产品带来的利益也已成为强手如林国际市场激烈竞争的焦点。中国作为新兴的发展中国家, 不可坐失发展转基因生物技术, 并占有世界市场一席之地的良机。为了增加民众对转基因生物技术及其产品, 特别是对生物安全的了解, 本文介绍了生物安全的概念及涵盖的内容, 并以大量的背景知识和科学研究结果, 分析和讨论了转基因技术的发展为人类带来的利益和潜在影响。旨在让公众理性和科学地看待转基因技术及其相关生物安全问题。

关键词: 生物安全; 遗传工程; 转基因; 环境影响; 公众认知

Increase Public Understanding on Genetically Modified Organisms and Biosafety Issues Based on Scientific Knowledge and Facts

LU Bao-Rong*

Ministry of Education, Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: The rapid development of transgenic biotechnology and significantly increased global cultivation of genetically modified (GM) crops has aroused great concerns over the biosafety issues by public worldwide. Public has limited knowledge on biotechnology/transgenic products and biosafety in particular, resulted in suspicion and unnecessary fear. Owing to the challenge of world food security and the deterioration of global environment, it becomes unchangeable trends to apply new technologies, including biotechnology, to solve the problem of food security. In addition, the huge economic benefits brought by biotechnology products will also become one of the competitive focal points for the countries with strong biotechnological capacity. As a member of the international community and an economic-emerging country, China cannot afford to lose the great opportunities to develop the technology. To increase public understanding on biotechnology, GM plants, and biosafety, this article introduced the concept and concerned areas particularly in biosafety, and discussed the benefits and potential impact associated with the technology, based on common knowledge and facts obtained from scientific research. The objective is to help public view biotechnology and biosafety in a more reasonable and scientific way.

Key words: biosafety; genetic engineering; transgene; environment impact; public awareness

科学技术的发展总是促进着人类社会的进步和发展, 每一次科学技术和发明的成果都为人类社会的进步和人类的生活带来了巨大的利益。例如蒸汽机的发明和应用带来了工业革命的发展, 伦琴射线(x-射线)的发现及其在医学诊断的广泛应用带来了医疗技术的革命, 信息技术的发展对人类生活方式产生了巨大的影响(刘青峰 2006)。同样, 生物技术的出现和发展及其在农业和医学领域的广泛应用, 也为全球的粮食安全、生态环境改善和疾病的治疗等带来了新的机遇和巨大的

利益(Hood 1988; Bennett和Jennings 2013)。毋庸置疑, 随着人类社会的不断进步, 科学技术也将不断得到发展, 并且给人类的生活带来更多的方便和更大的利益。转基因生物技术就是现代众多具有科学技术成就的领域中对人类的生活产生最大影响的技术之一。

收稿 2013-05-02 修定 2013-05-20

资助 国家重点基础研究发展973计划(2011CB100401)和转基因生物新品种培育重大专项(2013ZX08011-006)。

* 通讯作者(E-mail: brlu@fudan.edu.cn; Tel: 021-65643668)。

转基因技术在农业生产中的应用主要是对农作物品种的遗传改良。达尔文的进化思想是作物育种和品种改良的重要理论基础。按照这一理论的解释,生物体不断产生变异,而有益的变异适应于环境而被选择下来,这就产生了适应性进化,使产生了变异的生物体——新物种得以生存。作物改良的过程就是人类利用不同的方法,使栽培作物产生适应于人类需求的有利变异,并对其进行选择和保留,培养更适合于自己需要的新型栽培农作物。转基因育种就是利用转基因生物技术在农作物品种改良过程中创造变异的有效途径之一(Suslow等2002)。传统的育种过程也涉及转基因,但传统育种主要通过有性杂交的方式,将优良的基因从具有该性状的供体植物(如农作物品种、野生近缘种等)转移到希望对其进行改良的目标品种(受体植物)中。只不过通过有性杂交的方式进行优异基因导入或转移,具有耗时(育种时间长)、目标性弱(难以控制希望导入的优异基因)和效率低等缺点。而且通过有性杂交的方式进行基因转移难以逾越物种之间的生殖障碍,这就大大地限制了可以利用基因资源的范围。例如,要想通过有性杂交的方法将小麦中的抗旱优异基因转移到水稻中几乎是不可能的;同时,很难通过有性杂交的方式将亲缘关系较远的野生近缘种优异基因资源转移到栽培农作物品种中,进行品种的遗传改良。

利用生物技术的方法来转移不同物种的优异基因,则是将目的基因从具有优良性状的供体生物(包括植物、动物和微生物)中克隆和分离出来,再用一个特殊的运载工具(载体),将目的基因转移到希望对其进行遗传改良的目标品种中。利用生物技术进行基因转移不仅可以达到同样的目标,而且还可以同时解决传统转基因方法中的耗时、目标性差和效率低的问题。更重要的是,利用生物技术进行转基因还可以逾越物种之间生殖隔离的障碍。从理论上讲,利用生物技术可以从任何一个供体物种中将有用的基因分离出来,并且转移到希望改良的农作物品种,这样就极大地扩展了可以利用的基因资源范围。这充分表明,转基因生物技术对作物遗传改良带来了前所未有的新机遇(Suslow等2002)。

事实上,自从1994年5月18日世界首例转基因

西红柿(Flavr Savr[®], CGN-89564-2)获得批准进入商品化生产以来,转基因作物的种植和应用如雨后春笋,迅速发展和扩大。据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)的不完全统计,到2012年全球转基因作物的商品化种植的累计面积已达到了1.7亿公顷,与1996年转基因作物的种植面积相比,在短短的16年中就增长了100倍,带来的经济利益也极为可观(James 2012)。在农业生产中,还没有任何一项技术能够在这样短的时间内带来如此迅速的增长。这充分表明转基因技术对于农业生产和保障全球粮食安全具有重要的作用,转基因作物的种植和在农业生产中的长期商品化应用,对社会、经济以及环境方面的持续效益和影响也是巨大的。

然而,像任何一项新技术的出现和应用一样,转基因技术及其产品在对农业生产方式和生产效率带来巨大变革以及巨大的社会经济利益的同时,也带来了全球范围内对该项技术及其应用的一系列质疑。特别是引发了全球对转基因技术及其产品应用的“生物安全”顾虑,甚至广泛的讨论和争议。一时之间,转基因的生物安全成为各大媒体频繁出现的话题,有些人甚至谈转基因色变,尽管他们可能对什么是转基因,什么是生物安全并不了解。我们提倡要科学和理性地看待转基因技术及其生物安全的相关问题,这就要求我们必需了解什么是生物安全,生物安全涵盖了哪些内容,什么是生物安全的评价和研究,如何看待转基因生物技术带来的利与弊。本文就上述一系列相关问题,特别是对环境生物安全的问题进行了介绍和讨论。

1 生物安全的概念及其涵盖内容

生物安全具有广义和狭义的概念。广义的生物安全概念泛指一切生物因素对人类健康和生态环境可能带来的负面后果及其解决方法,例如外来生物入侵、疾病的过境传输、甚至生物武器的使用等所带来的安全问题和隐患。本文所涉及的生物安全是狭义概念,特指与转基因技术相关的生物安全。狭义的生物安全定义也有诸多不同的版本,按照联合国粮食与农业组织(FAO)的解释,生物安全是指:“在生物技术的应用以及转基因植物和其他生物尤其是微生物的环境释放过程中可

能对植物遗传资源、动物和植物、人类健康以及环境带来的负面影响”。通常,我们可以将生物安全理解为:“使转基因生物及其产品在研究、开发、生产、运输、销售、消费等过程中受到安全控制,防范其对生态和人类健康产生危害,以及应对转基因生物所造成的危害、损害而采取的一系列措施的总和”(卢宝荣等2008)。也即是说,转基因生物技术及其产品在研究、开发、生产和应用的一系列过程中所可能涉及到对人类健康、环境和生物多样性带来潜在的安全隐患,应该采取一系列法律法规和科学手段来对其进行评价、检测和管理,以达到避免或尽量降低这些安全隐患的目的。

转基因生物安全的内容涉及面非常广泛,包含了食品、环境、社会经济、科学研究、法律和政策等方面的内容。按照目前转基因生物安全所涉及的领域,我们可以将其大致归纳为以下几方面:

1.1 食品与饲料安全

俗话说“民以食为天”,我们最关心的应该是每天所用食用产品的安全性。由转基因作物所生产和加工而形成的食品是否存在不安全的因素,这是生物安全最关注的领域之一。例如,转基因食品可能含有外源基因(来自农作物以外的基因),是否会由于该基因而产生急性或慢性毒性、致敏性、抗营养因子以及非预期的性状等,从而对人类的健康产生影响?此外,在第一代的转基因产品中,常常包含转基因的筛选标记,而筛选标记常常为抗生素(如卡那霉素、潮霉素等)抗性基因,这些基因是否可能对人类健康带来危害?对饲养的动物带来危害?这些都属于转基因食品生物安全的范畴(König等2004; Cromwell等2005; Marshall 2007)。

任何国家在每一个转基因作物品种进入商品化生产之前,都要对于该作物上述的食品和饲料的安全性进行长期和科学的评价,确保每一个转基因作物不存在食品和饲料方面的安全的隐患,才会对该产品颁发安全证书,允许其进入商品化生产。重要的是,按照各国的生物安全法规,现在培育的第二代转基因作物,均通过改良的生物技术而将筛选标记统统删除了,因此转基因产品中

已经不再包含有抗生素等标记基因,大大地提高了转基因食品的安全性。对于用作饲料的转基因产品也需要进行与转基因食品同样严格的安全评价才能允许进行商品化生产。

1.2 环境生物安全

由于转基因作物会在开放的环境中进行大规模商品化种植,这些作物中包含的转基因也会随之而释放到环境中。经过人工修饰的转基因是否会对生态环境产生多方面的负面影响?如何消除这些影响?这些均属于环境生物安全的范畴。国家对转基因作物的环境释放也必需进行相应的环境生物安全评价。例如,有些目标转基因(如抗虫转基因*Bt*)含有杀虫蛋白,会杀死作物中的某一类主要害虫(称之为靶标害虫)而达到保护作物和稳定产量的目的。但这一类转基因是否能杀死农业生态系统中的一些中性昆虫、有益的天敌、甚至非昆虫的其他类型生物(称之为非靶标生物),这是人们对转基因环境生物安全的顾虑。另外,转基因是否会通过天然杂交和基因漂移而逃逸到非转基因作物品种和作物的野生近缘种,从而带来潜在的生态影响?转基因作物的大面积种植是否会影响到农田生态系统中的生物多样性?转基因的大规模种植是否会对土壤生物,特别是有益的土壤微生物带来影响?这些问题均是转基因作物在进行商品化生产之前必须进行科学评价和回答的环境生物安全问题(Ellstrand 2001; Conner等2003; Sanvido等2007; Lu和Yang 2009)。本文后面还将以案例的方式专门对转基因的环境生物安全问题进行详细讨论。

1.3 转基因的标识和检测

为了让广大的消费者具有知情权和选择权,在我国和其他许多国家,按照转基因生物安全的法规,对于任何一种转基因产品均要求对其进行强制的标识。也即是说,生产商和销售商必须对其含有转基因成分的产品进行书面示明(金芃军等2004; 陈超和展进涛2007; Ahmed 2002)。转基因产品的标识并不是表明该产品与其他非转基因产品有什么实质性的区别,或是存在安全隐患,而只是为消费者提供知情信息。相反,进行了转基因标识或贴有标签,正表明该产品经过了生物安全评价,应该是安全的。在有些国家如美国和加拿

大,转基因产品的标识是自愿的,生产商和销售商可以不对其转基因产品进行标识,因为这一过程需要包括数量不小的花费。而我国的法律明确规定对国内生产和进口的转基因产品一律要进行标识,以满足消费者的知情权和选择权。另外,为了保证和加强对转基因产品及其加工原料标识的执行和监管,我国还成立了专业的资质机构,对销售产品是否含有转基因成份进行科学的鉴定和检测,以确保消费者的知情权得到落实。

1.4 转基因的社会、经济和伦理问题

由于转基因技术涉及到巨大的经济利益,自该技术的广泛应用以来,也引发了人们对该技术是否带来全球性的社会、经济和伦理影响进行了激烈的讨论(Finucane 和 Holup 2005; Einsele 2007)。例如,转基因生物技术是否会被跨国大公司所垄断,导致真正需要这些技术的人群(如小农户)和发展中国家因为付不起昂贵的费用而无法使用该技术?生物技术的垄断和转基因产品的集约化生产是否会导致两极分化的日益加剧,而使小农户变得更贫穷,甚至破产,从而导致社会的不稳定性?此外,由于不同宗教信仰的缘故,转基因生物技术也涉及到一些伦理方面的问题。例如,信仰神创论的人群认为,人类不可以对上帝创造的万物进行人为的改变,包括基因改良,而素食主义者也许不愿意食用和接受含有动物基因的产品等。这些都属于转基因社会、经济和伦理问题的范畴。

1.5 转基因生物的相关管理条例和法规

全世界的转基因生物研发、种植、利用、转移运输、贸易和管理等等都是在法律的框架下进行的(Spök 2007)。生物安全的国际法规是附属于《生物多样性公约》下的《卡塔赫纳生物安全议定书》。该议定书是在世界范围内对具有活性的转基因生物进行生产、过境传输、管理以及利益分配等具有明确的规定的法律文件,全世界已有包括中国在内的一百多个国家签署同意执行该议定书。各国也建立了适合于自己国情的转基因生物安全管理法规和文件,便于指导和监管转基因生物的生产 and 商品化应用。

我国也有相对完备的转基因生物安全法规。2001年5月21日,由当时的国务院总理朱镕基

签署的中华人民共和国国务院令304号《农业转基因生物管理条例》,就是目前我国生物安全管理的最高法律依据。此外,农业部还颁发了多个与之配套的法律文件,例如《农业转基因生物安全评价管理办法》、《农业转基因生物标识管理办法》、《农业转基因生物进口安全管理办法》、《农业转基因生物加工审批办法》等等。此外,我国还成立了由多部委联合领导的转基因生物安全管理专职部门,建立了生物安全审理、评价和监管的体系。这些条例、法律和安全管理体的建立和健全,对于我国转基因技术和转基因产品的有序发展和商品化应用提供了充分的法律保证。

1.6 转基因生物安全的公众教育和公众认知

在风险评价、风险监管和风险交流这样一个完备体系中,风险交流是非常重要的一个环节。但有关转基因生物安全的风险交流却往往不被大多数人重视。风险交流是指通过信息交流、宣传和公众教育等形式,将有关技术和产品的科学知识以及相关的安全知识传播到全社会。通过风险交流,让公众对转基因生物技术,转基因生物以及相关生物安全的一系列科学知识和科学内容有一个正确和全面的认识,从而对有关转基因生物及其安全性的信息有正确的判断(陈桂荣2005; 许晶2006)。这样不仅可以在政府有关部门和公众的共同努力下尽可能降低转基因产品的负面影响或潜在风险,而且还可以避免由于缺乏转基因生物一般知识而造成公众对信息的盲信,以及面对大量信息而不知所措,甚至不必要的恐慌。因此,应该有计划地加强公众对生物技术、转基因以及转基因生物安全知识的学习和了解,特别是从青少年的教育就开始加入有关新技术,如转基因生物技术的内容,以便提高公众对转基因技术及其生物安全的认识水平和对转基因产品的认知程度。

1.7 转基因生物安全的研究和评价体系

作为一种新技术的应用,转基因产品是否具有潜在的风险?风险有多高?是否可以通过一定的措施避免或将风险降到最低?对这些问题的回答必须依靠科学研究手段。因此,应该加强转基因生物安全的科学研究并且建立以科学为基础的生物安全评价体系(Andow和Zwahlen 2006; Johnson等2007)。转基因生物安全的评价是一个科学

的过程,是以科学研究的成果和数据为依据的,大力加强相关科学领域的研究,积累大量的科学研究数据,研究有效的生物安全评价方法,对于指导转基因生物的安全评价和利用具有重要的意义。此外,在安全评价的过程中,还应该遵循与转基因生物安全评价相适应的一系列原则。例如,在食品安全评价中的“实质等同性原则”,还有其他方面安全评价中的如“预防原则”、“逐步实施原则”、“个案原则”和“科学、透明原则”等等。如何将各个原则进行优化而适宜地使用到转基因的生物安全评价中,达到转基因产品的可持续和安全利用以及消费者放心使用转基因产品的目的,也是生物安全的重要内容之一。

2 转基因的环境生物安全

如前所述,环境生物安全是转基因生物安全的重要领域之一。环境生物安全是指转基因生物的大规模环境释放或种植可能对环境中生物多样性、遗传结构和生态系统带来潜在影响的现象(Lu 2008)。因为环境生物安全涉及的空间范围广、时间尺度长、环境变化又受许多因素的影响,加之人类对环境变化的许多因果关系和与某一重要因子的内在联系还缺乏足够的认识,因此转基因的环境生物安全顾虑也是目前仍备受全球关注的生物安全问题之一(Lu 2012)。事实上,环境生物安全所涉及的领域也非常广泛,包括的内容也很多,但目前全球备受关注的环境生物安全问题主要包括以下几方面。

2.1 转基因对非靶标生物的影响

抗虫转基因能使受体植物(如棉花、水稻、玉米等)产生杀虫蛋白,如转*Bt*抗虫转基因的棉花和玉米,具有杀死棉铃虫和玉米螟虫等棉花和玉米的主要害虫的能力,从而取代杀虫农药的施用,达到防虫的效果。抗虫转基因作物的种植可以取代化学农药和杀虫剂的使用,对保护生态环境可以起到很好的作用。同时,也降低了由于化学农药的使用而带来的生产成本(购买农药和人工施药的花费),降低农产品农药残留而导致对人体健康带来的负面影响,为农业生产带来了显著的经济效益(James 2012)和生态利益(Wu等2008)。但是有人认为,既然*Bt*蛋白能够杀死作物的害虫,那对于农田生态系统中的其他生物,如传粉昆虫、中性

的昆虫、害虫的天敌,甚至哺乳动物是否也有同样的杀除或者伤害作用呢?这就产生了对抗虫(和抗病)转基因的非靶标生物影响顾虑。

目前,抗虫转基因作物最成功和应用最广的是*Bt*转基因,因此全世界针对*Bt*转基因的非靶标生物效应进行了多年的研究,也获得了大量的科学数据和结果。利用不同的抗虫转基因(*Bt*)作物为材料(如棉花、玉米、水稻等),在自然环境下进行对非靶标生物(如家蚕、蜘蛛等)的比较分析表明,由于*Bt*蛋白只是对鳞翅目的某些昆虫具有攻击的“靶点”,所以只对棉铃虫、玉米螟和水稻螟虫等鳞翅目的害虫有明显杀灭作用,而对非鳞翅目的昆虫(包括害虫)和其他门类的动物如蜘蛛、天敌昆虫和节肢动物均没有带来显著的负面影响(李保平等2002;刘志诚等2004;刘杰等2006)。研究还表明,与传统化学杀虫剂来防治害虫的方法相比较,*Bt*抗虫转基因对农业生态环境和生物多样性的保护和维持更加有益(刘志诚等2004),因为绝大多数种类的化学农药和杀虫剂是没有选择杀灭作用的,往往是对所有接触到农药的生物统统都杀灭,对农业生态环境和生物多样性都有严重的负面影响。而且,在农作物中残留的化学农药还会对人类的健康和牲畜的生长发育带来不利影响。

2.2 转基因逃逸及其带来的生态环境影响

通过生物技术的方法转移到目标作物品种的外源基因,存在于转基因作物的各个器官,这些转基因会随着转基因植物营养体(如分蘖、块根和块茎)以及繁殖器官(如种子)而移动,扩散到非转基因作物或是野生近缘种的群体。通过传粉为媒介,也可以将转基因经有性杂交的方式转移到非转基因作物或野生近缘种群体。这一现象被称为花粉介导的转基因漂移,这一过程会导致转基因逃逸(Lu 2008)。有人因而担心,由于转基因植物的大规模种植,转基因会逃逸到非转基因作物品种和作物的野生近缘种,带来潜在的环境和生态风险。一些经人工修饰的转基因具有较强的自然选择优势,如果这些转基因通过基因漂移逃逸到野生近缘种群体,可能会因其受到的自然选择比未经遗传修饰的基因更加强烈而影响野生近缘种群体的进化过程,从而带来潜在的生态后果。

天然杂交和基因漂移是生物物种和物种之间

经常发生的自然现象,是生物得以进化的动力。远远早在转基因生物出现之前,天然杂交和基因漂移就已经存在,栽培作物与野生物种的基因交流也已经自然的进行了上万年。至于转基因逃逸到作物的野生近缘种或其同种杂草群体(如杂草稻、杂草油菜)之后将带来什么样的生态和进化后果?关于这一点,我们还了解得不多(Ellstrand 2001)。在这个环境生物安全问题的驱动下,全球的科学家对作物品种之间,作物与其野生近缘种之间的基因漂移频率以及基因漂移到野生近缘种会带来什么样的生态和进化影响进行了大量的研究(Snow等2005; Ellstrand 2003; Lu和Yang 2009),也获得了很多有意义的结果(Song等2014; Rong等2007; Yang等2010)。关于转基因逃逸及其生态后果的内容,本文将在下一节以研究案例的方式予以详细的介绍和讨论。

2.3 转基因作物大面积种植对生物多样性的影响

由于转基因作物的许多优良的特性,受到世界上1亿多农户的喜爱和种植。使转基因作物在全球的种植面积从1996年规模化进入商品生产以来的短短17年中就增长了100倍达到了1.7亿公顷,这个面积相当于英国国土面积的6倍!已进入商品化种植的转基因作物包括:棉花、大豆、玉米、油菜、西红柿、甜椒、茄子、马铃薯、甜菜、苜蓿、番木瓜、南瓜以及林业树木如转基因杨树等等。许多重要的粮食作物如水稻和小麦等也蓄势待发,等待进入商品化生产的最佳时机。由于转基因作物迅速增加的种植面积,转基因作物的大规模种植与快速扩展是否会影响农民对种植品种的决策,即选择大量种植转基因作物而放弃自己种植的传统农家品种,从而导致大量农家品种被少数的转基因品种所取代,使农业生态系统中的品种多样性降低。另一种看法认为,当转基因作物品种的个体通过人为混杂的方式或基因漂移,混入非转基因品种中,由于某些转基因(如抗虫、抗病或抗旱等)具有自然选择优势而被保留下来,而传统的非转基因品种可能由于不具有上述优良性状而逐渐被自然选择或农民的有意识选择淘汰,而造成传统农作物品种中不同类型基因型(遗传多样性)的丧失,最终导致某一特殊农业生态系统中生态多样性的下降。

对于上述的第一种情况导致作物品种多样性下降的担忧,其实早在20世纪60年代末,在半矮秆基因资源利用和遗传改良技术而带来的“绿色革命”过程中,就产生了许多具有跨时代意义的高产作物(如水稻、小麦和玉米)品种,这些高产品种一方面大幅度提高了作物的产量,在20世纪60~70年代解决了世界许多地区的饥饿问题,拯救了千百万人的生命。另一方面,由于这些高产品种的大面积推广,农民放弃了对传统农家作物品种的种植,从而致使许多地区的传统品种丧失,也带来了之后农作物传统品种资源保护及其保护策略的产生。

由于优良品种的大面积种植而导致农业生态系统中品种多样性下降的问题,可以通过政策以及对品种种植的合理布局来解决,而不是摒弃这些优良品种。反过来,上述事实均说明无论是“绿色革命”产生的一系列高产品种,或是“基因革命”产生的高产、优质的转基因品种具有更广泛的应用和更强的生命力。通过更适宜的政策调控,合理的种植布局,加之有意识地对特有农家品种的保护,是可以解决由于少数高产优质品种的种植而带来品种多样性降低的这一问题的。而对于上述的第二种情况导致的作物品种多样性下降,则可以通过对转基因作物种植的有效管理,以及在转基因品种和非转基因品种之间设置一定的空间隔离距离来达到降低和避免基因漂移而导致的转基因混杂。欧洲许多国家曾研究和探讨一种转基因作物和非转基因作物共存(co-existence)但互相不产生影响或影响极小的种植管理办法(Devos等2009)。

2.4 转基因对土壤生物群落的潜在影响

转基因作物进入大规模的商品化种植,其根系的分泌物、残留在土壤中的转基因作物根系、凋落物和未被收获的作物残留部分进入土壤以后,是否会对土壤中的微生物和小型动物产生负面影响?同时这些含有转基因的残留物在土壤中进行分解的过程中,是否会影响土壤的生态性能及功能?这也是转基因环境生物安全关注的问题之一。例如有人认为,含有抗虫*Bt*转基因的残留物进入土壤以后,是否对土壤微生物或小型动物带来负面作用。针对这一问题,科学家也从不同的角度,并利用含*Bt*抗虫转基因的不同作物的残留物对

土壤微生物和小型动物进行了研究。结果表明,含有*Bt*转基因残体的土壤中虽然能够检测出一定量的*Bt*基因或*Bt*蛋白的残留(Oliveira 2007; 叶飞等2010),但是这些残留物对微生物和小型动物均没有造成明显的影响。

考虑到*Bt*基因就是从土壤中的细菌(苏云金芽孢杆菌)中分离出来的,经过遗传修饰过的*Bt*基因再回到土壤中,应该不会对土壤产生额外的影响。但是,我们对这一领域的知识还相对较少,从生物安全的角度出发,可以进行更多的有关转基因对土壤生物群落的影响的深入研究(卢宝荣等2008)。

此外,除了上述四方面的环境生物安全问题,还有专家将抗虫转基因作物(如*Bt*)的长期和大面积种植是否会导致靶标害虫对转基因产生抗性,从而降低转基因的抗虫效果也列为环境生物安全的考虑。但是对于靶标害虫抗性产生的问题,目前广泛采用“高剂量”和“庇护所”结合的抗性治理策略来延缓靶标害虫对*Bt*转基因抗性的产生。由于转基因抗虫性的丧失,主要涉及到是抗虫基因的作用效率降低或基因资源的丧失,不会带来任何的环境和生态方面的风险问题。因此,学者逐渐将靶标害虫或病原菌对抗虫或抗病转基因产生抗性的问题移出了转基因环境生物安全的范畴。

3 转基因逃逸及其潜在环境影响: 研究案例分析

转基因逃逸是指作物中的外源转基因通过基因漂移(或称基因流)传播到环境中非转基因生物群体的现象。作为群体遗传学和进化生物学的概念,基因漂移是一个自然过程,这一过程已经在自然界的生物个体和群体之间发生了数百万年(Lu 2008)。基因漂移是生物进化的动力,是生物产生新遗传变异的源泉,可以说如果没有基因漂移发生,我们今天的大千生物世界就不会像现在这样丰富多彩。由于基因漂移与生物技术和转基因逃逸产生了联系,有人认为基因漂移可能导致转基因向非转基因农作物及其野生近缘种逃逸,进而带来潜在的社会、经济和生态环境方面的负面影响,基因漂移才再次受到了极大的关注。转基因逃逸及其潜在生态后果已经成为转基因作物商品化种植引发的全球最具有争议的环境生物安全问题之一(Ellstrand 2001; Sanvido等2007; Andow和

Zwahlen 2006; Lu和Yang 2009)。

3.1 基因漂移的概念

从理论上讲,自然界存在两种类型的基因漂移,即:基因水平转移(horizontal gene transfer)和基因漂移(vertical gene flow)。前者是指在不同生物种之间产生与有性生殖过程无关的基因转移,而后者是指具有一定亲缘关系的物种或群体之间通过有性生殖过程而产生的基因转移(Lu 2008)。基因水平转移通常发生在亲缘关系较远的物种之间,而且基因转移的频率非常低(>0.001%),虽然基因水平转移可能在生物进化的过程中有一定的意义,但目前还没有任何研究结果显示这种类型的基因转移会带来环境生物安全方面的问题。因此,本文仅对通常意义上的基因漂移及其潜在生态风险进行讨论。

基因漂移是环境生物安全中被广泛提及的概念,通常是指由花粉漂移(传粉)介导的不同个体或群体之间的基因转移,通过不同个体之间的有性杂交所导致双亲基因的交换和转移。虽然通过植物的种子和无性器官(如马铃薯的块茎和水稻的分蘖)的传播,也能够导致种子或无性器官在不同空间隔离的群体之间进行扩散,但最终还是需要通过对有性生殖过程,才能够产生真正意义上的基因转移(Lu 2008)。因此,花粉介导的基因漂移对讨论环境生物安全或生态风险具有重要意义。按基因漂移的对象不同,可以将其分为转基因向非转基因作物品种的漂移,即:作物-作物基因漂移(例如:转基因从转基因水稻品种向非转基因水稻品种漂移),以及转基因向作物野生近缘种的漂移,即:作物-野生近缘种基因漂移(例如:水稻转基因向野生稻中漂移)。由于“作物-作物”和“作物-野生近缘种”基因漂移所带来的生态后果不同,因此有必要将这两种不同类型的转基因逃逸及其导致的影响分别进行讨论。

3.2 作物-作物转基因逃逸的影响

转基因通过花粉介导的基因漂移从转基因作物向其邻近田块的非转基因作物品种逃逸比较容易产生,特别是对异花传粉植物或异交率比较高的植物(如玉米),转基因逃逸的可能性更高。大量研究表明,水稻品种之间的基因漂移水平很低,相距5 m的水稻植株,基因漂移频率在0.01以

下,因此水稻的作物-作物转基因逃逸可能性很低(Rong等2004, 2005, 2007)。转基因逃逸带来的影响主要是转基因对非转基因作物品种造成不同水平的混杂(常常被称之为转基因“污染”),从而带来食品或饲料安全的顾虑。特别是当转基因产品的生产目的并非用作食品或饲料(如用于工业原料),由作物-作物转基因逃逸产生的混杂将备受关注,并带来更大的安全问题和经济损失。有一个著名的例子可以表明转基因“污染”带来的严重问题:美国的星联转基因玉米(Starlink GM Corn, 转基因事件BH-351)是作为动物饲料而被批准在美国生产,由于生产商(星联公司)未按商品化生产批准时的要求,严格实行空间隔离和不能用于食品,而在玉米一种食品中检测到了该星联玉米的转基因(*Cry9c*),造成了对所有该产品的召回和巨大的经济赔偿,最终导致星联公司的倒闭。从上述例子我们可以看出,转基因作物中的转基因向非转基因作物品种的逃逸,主要将导致“转基因污染”的问题,可能带来地区间或国家间的农产品贸易摩擦,甚至是法律方面的纠纷等(Lu 2008)。

此外,作物-作物的转基因逃逸可能还会造成传统农家品种遗传多样性的改变甚至丢失(Engel等2006)。这种原因导致的农作物品种遗传多样性丢失包括如下两方面内容:第一,具有某种优良性状转基因农作物的大面积种植,可能取代大量传统农家品种,造成某地区农家品种遗传资源的丧失。例如,我国推广转基因(*Bt*)抗虫棉的商品化种植仅仅10余年,少数几个转基因抗虫棉的种植面积就超过了我国棉花种植面积的70% (Wu等2008)。可以想象有多少传统的棉花品种被转基因抗虫棉所取代。同样的例子也可以在北美的转基因大豆和油菜品种中发现。第二,转基因通过基因漂移从转基因作物向非转基因农家品种逃逸,可以导致农家品种遗传完整性的降低,如果转基因具有较强的自然选择优势,逃逸的转基因可以在非转基因品种的种植和繁殖过程中不断积累和扩散,造成传统非转基因品种中丰富的基因型被取代,从而导致基因多样性的丧失。对于这方面的问题和解决方案,已在上一节(3.1)中进行了讨论。

3.3 作物-野生近缘种转基因逃逸的影响

已有许多生态学研究结果表明,转基因可以

通过基因漂移逃逸到与农作物具有一定亲缘关系的野生近缘种(包括杂草类型)群体中(Ellstrand 2003; Lu和Snow 2005)。转基因逃逸到野生近缘种群体,可以改变野生近缘种的适合度,从而改变野生近缘种的生存竞争能力和入侵性,从而造成不可预测的生态环境影响(Lu 2008)。在进化生物学的概念中,适合度(fitness)是指具有特定基因型的有机生物体在特定生态环境下条件的相对繁殖成功率(Stewart等2003)。例如在植物中,适合度是以个体或群体的生存能力(survival)和繁殖能力(fecundity)这两方面来共同衡量的。适合度高的个体将产生大量的后代,从而在群体中逐渐取代其他的个体,反之,适合度低的个体将产生少量的后代而在群体中逐渐被其他的个体所取代。如果转基因可以通过花粉介导的基因漂移以较高的频率逃逸到野生近缘种,而同时该转基因又可以带来较高的适合度利益,那么,该转基因逃逸到野生近缘种群体将增强含有该转基因个体的生存竞争能力和入侵性,改变野生近缘种的进化潜力,从而带来负面的生态环境影响。因此,对转基因的逃逸频率以及转基因所带来的适合度利益或成本效应的分析,已成为转基因逃逸及其生态影响的核心问题(Stewart等2003; Lu和Snow 2005; Lu和Yang 2009)。

通常,转基因向野生近缘种群体逃逸可能带来以下几方面的生态影响:首先,转基因逃逸到野生近缘种群体可能导致新类型杂草的产生。杂草是广泛分布于全球农田生态系统的特殊植物类型,杂草对农田的入侵,不仅导致农作物的不同程度的减产,还常常由于其有害性状如毒性和过敏性等,造成作物产品的品质下降。作物向野生近缘种的转基因逃逸可能将有明显自然选择优势的性状(如:抗虫,抗除草剂和抗旱等)转移到作物的野生近缘种或同种杂草类型,从而改变这些物种群体的生存竞争能力和入侵性,形成难以控制的恶性杂草,对农业生产带来杂草控制和管理的困难,特别是当逃逸到野生近缘种群体的转基因具有较高的适合度优势时,可能带来的杂草问题将更为严重,导致较大的生态环境影响。

其次,转基因逃逸到农作物的野生近缘种群体,可能会由于转基因对野生近缘种的“遗传污染”

而导致野生近缘种群体的遗传多样性降低,当转基因具有显著的适合度劣势,而同时又有大量转基因不断地转移和渐渗到野生近缘种群体中,这将会导致遗传同化(genetic assimilation)效应,从而导致野生近缘种群体的遗传单一化,甚至群体遗传多样性的丧失。另一方面,具有很强自然选择优势并能够增强适合度的转基因整合到野生近缘种的基因组中,可能会由于选择性别除(selective sweep)效应而致使野生近缘种群体遗传多样性的降低甚至丢失,造成野生近缘种遗传资源的丧失(卢宝荣等2009; Lu 2013)。栽培作物的野生近缘种是作物进行遗传改良的重要种质资源,保证这些资源的长期生存和可持续利用对作物育种和粮食安全十分重要。因此,对外源转基因逃逸到农作物的野生近缘种群体将对种质资源产生什么影响还有待于进一步的研究(Lu 2013)。

4 转基因生物技术及其应用的利与弊

毋庸置疑,转基因作物商品化应用和种植所带来的巨大利益,已经被全球近一亿农民应用该项技术的热情,以及全球转基因作物的种植面积迅速扩展所证明(James 2012)。而大量的生物安全研究和已经获得的科学数据表明,转基因生物应用所带来的生物安全问题远比人们想象的要小得多。就转基因的环境生物安全而言,到目前为止,所有的研究结果还没有证实已在生产上广泛应用的转基因(如*Bt*抗虫基因)产生了明显和负面的生态环境影响。相反,研究证明长期种植抗虫转基因(*Bt*)棉花带了显著的正面生态效应(Wu等2008)。这些转基因还是指具有较强自然选择优势(如抗虫、抗病)的基因。其实还有大量的转基因不具有任何的自然选择优势或与环境的影响没有直接关系,例如按人类需求对作物的品质、口感或是营养成分进行改善的基因,它们对环境应该不会产生任何影响。

任何新生事物的出现和新技术的应用都不会一帆风顺,因为这些新生事物和新技术在其刚刚出现之时并不一定非常完美,可能会存在一些不足。但是在科学和技术的发展过程中,新技术某些不足可以逐渐得以改善的。例如,最早蒸汽机汽车的使用,常常会产生事故甚至有爆炸的危险,但是现代的汽车已经被改善得具有很高的安全

性。又如,第一代的转基因产品都含有抗生素筛选标记基因,但是随着转基因技术的发展,所有标记基因都可以被删除,因而新一代的转基因产品已经不再含有筛选标记基因。这反映了人类从“必然王国”向“自由王国”的发展过程。随着人类对自然规律的深入认识和科学技术的进一步发展,总是可以将对人类有用的技术或产品改善到利益最大而风险最小的状态。

值得一提的是,世界上并不存在“零风险”的事物,例如对人类非常有用的医药、手机、电脑、交通工具等,在使用时就没有风险吗?事实是人类目前正在非常高兴地享用着这些技术的成果。人类对科学技术及其产品的利用是本着“两利相权取其重,两害相权取其轻”的原则,尽量利用能带来巨大利益的技术,尽管该技术可能存在一定风险。就如现代交通工具的使用,尽管每年仅在中国就会有远大于10万次的严重交通事故和伤亡发生,但是人们使用这一快捷而有利交通工具的热情并没有丝毫下降的趋势,也没有任何希望终止使用现代交通工具的迹象。又如在棉花的生产中,由于已经有大量害虫的发生,严重威胁着棉花产量,为了控制虫害保住棉花的产量,人类只有两种选择:一是大量喷撒化学农药杀虫剂,二是使用含*Bt*转基因的抗虫棉。前者会杀死棉田中的所有生物包括对人类产生伤害,同时在土壤和棉花产品中均有大量农药的残留;而后者则是“靶向性”地杀死主要害虫棉铃虫。两种方法均可以控制虫害、保证产量,利弊关系一目了然,人们将如何做出选择,也应该是显而易见。

5 展望

如前所述,从1996年转基因作物有一定规模的商品化生产到现在(James 2012),全球转基因作物的种植面积呈快速的增长态势,全球有一亿多农户种植了转基因作物,这充分证明转基因生物技术所带来的巨大社会经济利益及其强大的生命力。这是一项能产生很大经济效益的技术,在当今国际竞争强手如林的形势下,各个国家都希望在这个市场中占有一席之地和分到一杯羹。中国不去占领这个市场,其他国家将毫不客气地占领这一市场。

我国的转基因技术研究和转基因产品应用的

形势不容乐观,据2012年资料的统计,我国的转基因作物(包括林木)的种植面积仅为400万公顷,以转基因作物种植面积来进行排序,中国排在第6位(James 2012)。全球排在第1~5位的国家分别是美国(6 950万公顷)、巴西(3 660万公顷)、阿根廷(2 390万公顷)、加拿大(1 160万公顷)和印度(1 080万公顷)(James 2012)。从上述数据看,中国转基因作物的种植面积还不到排在全球第5位印度的一半,就更不用和与我国经济发展水平的相似的巴西相比了(比我国多9.11倍)!可以想象,我国在国际转基因市场所占的份额还不足4%!在未来全球资源趋于紧缺,粮食安全面临日益严重挑战和各国的经济利益严重冲突的形势下,不发展生物技术,不用我国的优势技术去占领国际市场,我国就会处于被动的局面。“逆水行舟不进则退”,在2003年我国的转基因作物种植面积排名第4(210万公顷),与当时排名第7的印度(小于100万公顷)相比较,还有很大的优势。十年过去,我国的转基因作物种植的面积被西方和印度远远抛在后面。我国的农民难道就不需要新技术么?这其中的原因值得我们去深思!

世界在发展,科技在进步,无论我们喜欢与否,转基因生物技术一定会在全球范围内不断发展。由科技进步而给世界各国带来的发展机遇是一样的,只有紧紧抓住发展的机遇,才能让科学技术的成果为国家的发展和人民生活水平的提高做出应有的贡献。和其他高新技术一样,转基因生物技术在世界经济发展中占有重要的地位。但是转基因生物技术还不是一个完美的技术,还有改善和发展的空间。因此,目前还存在食品安全和环境安全的顾虑。但是,本着“两利相权取其重,两害相权取其轻”的原则,我们是因为该技术还存在一定的缺陷就完全摒弃它,还是让它通过不断改良和完善来造福人类、造福中国人民?全世界很多国家都对这一技术的发展持积极支持的态度,为了保证这一技术可持续和健康发展,各国都在发展自己的转基因生物安全评价方法和技术。相信随着生物安全问题的逐步解决,转基因技术及产品将为人类带来更加安全和环境友好的产品。

参考文献

陈超,展进涛(2007). 国外转基因标识政策的比较及其对中国转基因

- 因标识政策制定的思考. 世界农业, (11): 21~24
- 陈桂荣(2005). 公众对转基因食品的了解和接受程度. 昆明理工大学学报, 5: 14~17
- 金芫军,贾士荣,彭于发(2004). 不同国家和地区转基因产品标识管理政策的比较. 农业生物技术学报, 12 (1): 1~7
- 李保平,孟玲,万方浩(2002). 转基因抗虫植物对天敌昆虫的影响. 中国生物防治, 18: 97~105
- 刘杰,陈建,李明(2006). 转Bt棉花对蜘蛛生长发育及捕食行为的影响. 生态学报, 26: 945~949
- 刘青峰(2006). 让科学的光芒照耀自己: 近代科学为什么没有在中国产生. 北京: 新星出版社
- 刘志诚,叶恭银,胡萃(2004). 抗虫转基因水稻和化学杀虫剂对稻田节肢动物群落的影响. 应用生态学报, 15: 2309~2314
- 卢宝荣,傅强,沈志成(2008). 我国转基因水稻商品化应用的潜在环境生物安全问题. 生物多样性, 16: 426~436
- 卢宝荣,夏辉,杨箫,金鑫,刘苹,汪魏(2009). 杂交-渐渗进化理论在转基因逃逸及其环境风险评价和研究中的意义. 生物多样性, 17: 362~377
- 许晶(2006). 转基因技术在美国和欧洲的认知及传播. 前沿, 2: 204~208
- 叶飞,宋存江,陶剑,李长林(2010). 转基因棉花种植对根际土壤微生物群落功能多样性的影响. 应用生态学报, 21: 386~390
- Ahmed FE (2002). Detection of genetically modified organisms in foods. Trends Biotechnol, 20: 215~223
- Andow DA, Zwahlen C (2006). Assessing environmental risks of transgenic plants. Ecol Lett, 9: 196~214
- Bennett DJ, Jennings RC (2013). Successful Agricultural Innovation in Emerging Economies-New Genetic Technologies for Global Food Production. Cambridge: Cambridge University Press
- Conner AJ, Glare TR, Nap JP (2003). The release of genetically modified crops into the environment - Part II. Overview of ecological risk assessment. Plant J, 33: 19~46
- Cromwell GL, Henry BJ, Scott AL, Gerngross MF, Dusek DL, Fletcher DW (2005). Glufosinate herbicide-tolerant (LibertyLink[®]) rice vs. conventional rice in diets for growing-finishing swine. J Anim Sci, 83: 1068~1074
- Devos Y, Demont M, Dillen K, Reheul D, Kaiser M, Sanvido O (2009). Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review. Agron Sustain Dev, 29: 11~30
- Einsele A (2007). The gap between science and perception: The case of plant biotechnology in Europe. In: Green Gene Technology. Research in an Area of Social Conflict, Fiechter A & Sautter C (eds). Heidelberg: Series-Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 107: 1~11
- Ellstrand NC (2001). When transgenes wander, should we worry? Plant Physiol, 125: 1543~1545
- Ellstrand NC (2003). Current knowledge of gene flow in plants: Implications for transgene flow. Phil Trans R Soc B, 358: 1163~1170
- Engels JMM, Ebert AW, Thormann I, De Vicente MC (2006). Centres of crop diversity and/or origin, genetically modified crops and implications for plant genetic resources conservation. Genet Resour Crop Evol, 53: 1675~1688
- Finucane ML, Holup JL (2005). Psychosocial and cultural factors affecting the perceived risk of genetically modified food: An over-

- view of the literature. *Soc Sci Med*, 60: 1603~1612
- Hood L (1988). *Biotechnology and Medicine of the Future*. *J Am Med*, 259: 1837~1844
- James C (2012). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2012*. ISAAA Brief No. 44. New York: ISAAA
- Johnson KL, Raybould AF, Hudson MD, Poppy GM (2007). How does scientific risk assessment of GM crops fit within the wider risk analysis? *Trends Plant Sci*, 12: 1~5
- König A, Cockburn A, Crevel R, Debruyne E, Grafstroem R, Hammerling U, Kimber I, Knudsen I, Kuiper H, Peijnenburg A et al (2004). Assessment of the safety of foods derived from genetically modified (GM) crops. *Food Chem Toxicol*, 42: 1047~1088
- Lu B-R (2008). Transgene escape from GM crops and potential biosafety consequences: an environmental perspective. *Trieste: International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB), Collection of Biosafety Reviews*, 4: 66~141
- Lu B-R (2012). China: earlier experiences and future prospects. In: DJ Bennett, RC Jennings (Eds): *Successful Agricultural Innovation in Emerging Economies - New Genetic Technologies for Global Food Production*. Chapter 9. Cambridge: Cambridge University Press
- Lu B-R (2013). Introgression of transgenic crop alleles: Its evolutionary impacts on conserving genetic diversity of crop wild relatives. *J System Evol*, 51: 245~262
- Lu B-R, Snow AA (2005). Gene flow from genetically modified rice and its environmental consequences. *BioScience*, 55: 669~678
- Lu B-R, Yang C (2009). Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: assessing potential ecological consequences. *Biotechnol Adv*, 27: 1083~1091
- Marshall A (2007). GM soybeans and health safety - a controversy reexamined. *Nat Biotechnol*, 25: 981~987
- Oliveira AR, Castro TR, Capalbo DMF, Delalibera I (2007). Toxicological evaluation of genetically modified cotton (Bollgard®) and Dipel® WP on the non-target soil mite *Scheloribates praeincisus* (Acari: Oribatida). *Exp Appl Acarol*, 41: 191~201
- Rong J, Xia H, Zhu YY, Wang YY, Lu B-R (2004). Asymmetric gene flow between traditional and hybrid rice varieties (*Oryza sativa*) estimated by nuclear SSRs and its implication in germplasm conservation. *New Phytol*, 163: 439~445
- Rong J, Song ZP, Su J, Xia H, Lu B-R, Wang F (2005). Low frequency of transgene flow from Bt/CpTI rice to its nontransgenic counterparts planted at close spacing. *New Phytol*, 168: 559~566
- Rong J, Lu B-R, Song ZP, Su J, Snow AA, Zhang XS, Sun SG, Chen R, Wang F (2007). Dramatic reduction of crop-to-crop gene flow within a short distance from transgenic rice fields. *New Phytol*, 173: 346~353
- Sanvido O, Romeis J, Bigler F (2007). Ecological impacts of genetically modified crops: Ten years of field research and commercial cultivation. In: *Green Gene Technology. Research in an Area of Social Conflict*, Fiechter A, Sautter C (eds). Heidelberg: Series-Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 107: 235~278
- Snow AA, Andow DA, Gepts P, Hallerman EM, Power A, Tiedje JM, Wolfenbarger LL (2005). Genetically modified organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecol Appl*, 15: 377~404
- Spök A (2007). Molecular farming on the rise - GMO regulators still walking a tightrope. *Trends Biotechnol*, 25: 74~82
- Stewart CN, Halfhill MD, Warwick SI (2003). Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat Rev Genet*, 4: 806~817
- Suslow T, Thomas B, Bradford K (2002). *Biotechnology Provides New Tools for Plant Breeding*. Agricultural Biotechnology in California Series, Publication 8043, USA: UCANR Publications (<http://www.plantsciences.ucdavis.edu/bradford/8043.pdf>)
- Vogel G (2006). Genetically modified crops - Tracing the transatlantic spread of GM rice. *Science*, 313: 1714~1714
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ (2008). Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321: 1676~1678